



DE 197 18 480 A 1

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 18 480 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 60 L 11/12**  
B 60 K 6/04  
B 60 L 11/14  
B 60 L 11/16

②1 Aktenzeichen: 197 18 480.4  
②2 Anmeldetag: 30. 4. 97  
④3 Offenlegungstag: 6. 11. 97

⑥6 Innere Priorität:

196 17 825.8 03.05.96  
196 29 092.9 18.07.96

⑦1 Anmelder:

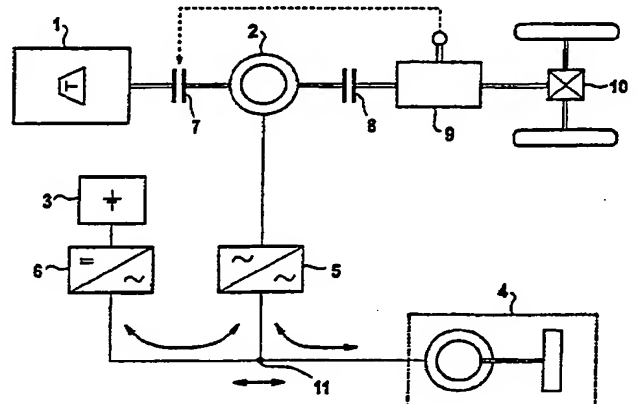
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:

Gleissner, Gerhard, Dipl.-Ing., 91054 Erlangen, DE

⑤4 Hybrid-Antrieb für ein Fahrzeug, insbesondere für ein Kraftfahrzeug bzw. für ein Schienenfahrzeug

⑤7 Zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs eines Hybrid-Antriebs mit einem Verbrennungsmotor (1 bzw. 20) und zumindest einer als Motor/Generator einsetzbaren Elektromaschine (2 bzw. 4a-4d) wird die Antriebs- bzw. Beschleunigungsleistung durch die über ein Bordnetz mit einem Direktumrichter (5 bzw. 16a-16d) aus einem Schwungrad-Speicher (4) gespeiste Elektromaschine erbracht; der Verbrennungsmotor ist lediglich zur Nachladung einer Batterie (3 bzw. 12a; 12b) bzw. der Einhaltung einer Mindestdrehzahl des Schwungrad-Speichers sowie zur Überwindung des Roll- und Luftwiderstandes des Fahrzeugs vorgesehen.



DE 197 18 480 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 97 702 045/994

11/25

Die Erfindung bezieht sich auf einen Hybrid-Antrieb für ein Fahrzeug, insbesondere für ein Kraftfahrzeug gemäß Patentanspruch 1 bzw. Patentanspruch 2, sowie insbesondere für ein Schienenfahrzeug gemäß Patentanspruch 17. Als Hybrid-Antrieb bezeichnet man Antriebe mit zwei unterschiedlichen Antriebsaggregaten, insbesondere einem Elektroantrieb in Kombination mit einem Verbrennungsmotor bzw. einer Wärmekraft-Maschine; eine Anwendung ist vor allem für ein Straßenfahrzeug bzw. ein Schienenfahrzeug, z. B. eine U-/S-Bahn in einem kombinierten Nahverkehrssystem; vorgesehen.

Durch die DE-A1-29 43 554 ist ein Hybrid-Antrieb mit einer aus einem elektrischen Energiespeicher, insbesondere einer ladbaren bzw. entladbaren Batterie, speisbaren und in diesen Energiespeicher rückspeisenden Elektromaschine bekannt, die bei einem Kraftfahrzeug über eine erste Trennkupplung mit zumindest einer Antriebsachse des Fahrzeuges und über eine zweite Trennkupplung mit einer zu ihr in Reihe liegenden Verbrennungsmaschine in Verbindung steht. Die Elektromaschine wird als Elektromotor bei ansteigender Fahrbahn und/oder bei Beschleunigungsphasen im Sinne eines addierenden Drehmomentes zu der Verbrennungsmaschine elektromotorisch und auf Gefällestrrecken und/oder bei Verzögerungsphasen den elektrischen Energiespeicher ladend generatorisch betrieben.

Je nach den Anforderungen der gefahrenen Strecke und der Umwelt hat der Kraftfahrzeuglenker darüber hinaus die Möglichkeit, nicht nur die Brennkraftmaschine und die dazu in Reihe liegende Elektromaschine gleichzeitig als Antriebsmaschine auszunutzen, sondern auch entweder jeweils die Elektromaschine, z. B. im innerstädtischen Verkehr zur Erzielung möglichst geringer Emissionen und Fahrgeräusche, alleine oder die Brennkraftmaschine, z. B. im Überlandverkehr, alleine einzusetzen. Zur Steuerung des Hybrid-Antriebes ist eine nur schematisch angedeutete elektronische Regelungsvorrichtung vorgesehen.

Durch die EP-A2-0 437 266 ist ein Hybrid-Antrieb mit einem Verbrennungsmotor, einem von dem Verbrennungsmotor antreibbaren Generator zur Stromerzeugung, einem elektrisch ladbaren und entladbaren Schwungrad-Speicher und mindestens einem gesonderten Elektromotor für den Fahrzeugantrieb bekannt, wobei der Generator der Speicher und der Elektromotor elektrisch miteinander verbunden sind. Dieser Hybrid-Antrieb zeichnet sich dadurch aus, daß er in der Regel ohne Schaltgetriebe arbeiten kann, weil der gesonderte Generator im Zusammenwirken mit dem gesonderten Elektromotor einen Drehzahl/Drehmoment-Wandler darstellt; der Verbrennungsmotor ist lediglich für den zeitlich gemittelten Leistungs-Mindestwert und somit geringer als für die kurzzeitige Maximal-Antriebsleistung dimensioniert, weil der darüber hinausgehende Leistungsbedarf aus dem Schwungrad-Speicher gedeckt wird. Die Abgabeleistung des Verbrennungsmotors ist dazu in vorteilhafter Weise mindestens im wesentlichen der jeweils von dem Generator abgegebenen elektrischen Leistung anzupassen. Sowohl dem Verbrennungsmotor als auch dem Elektromotor als auch dem Generator als auch dem Schwungrad-Speicher ist jeweils eine gesonderte Steuereinheit zugeordnet, die eingangsseitig an einen Gleichspannungszwischenkreis in der gegenseitigen elektrischen Verbindung der vorgenannten Bauteile des Hybrid-Antriebes angeschlossen

ist.

Gemäß Aufgabe vorliegender Erfindung soll ein in sich autarker Hybrid-Antrieb mit mindestens einem Energie-Speicher geschaffen werden, der sich bei geringerer Umweltbelastung durch geringen Gewichts- und Steueraufwand auszeichnet. Die Lösung dieser Aufgabe gelingt durch die Lehre des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 2 bzw. des Patentanspruchs 17; vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind jeweils Gegenstand der Unteransprüche.

Der erfindungsgemäße Hybrid-Antrieb gemäß Patentanspruch 1 zeichnet sich durch die Verwendung eines besonders einfach aufbaubaren Direktumrichters als Regel- bzw. Übertragungsmittel zwischen dem Fahrzeugantrieb einerseits und dem in vorteilhafter Weise über ein Wechsel- bzw. Drehstrombordnetz angeschlossenen Energiespeicher andererseits durch fertigungs- und regeltechnische Einfachheit aus.

Der erfindungsgemäße Hybrid-Antrieb gemäß Patentanspruch 2 erlaubt bei aufwandsarmer Steuerung bzw. Regelung mittels eines Wechselstrom- bzw. Drehstrombordnetzes mit einem Direktumrichter (AC/AC-Wandler) durch die vorteilhafte Überlagerungsmöglichkeit eines Antriebsstranges zwischen dem mechanischen Energiespeicher, insbesondere in Form eines Schwungrad-Speichers, und dem Fahrzeugantrieb bzw. eines Ladestranges von dem Verbrennungsmotor zu dem elektrischen Energiespeicher jeweils über die elektrische Maschine eine besonders geringe Baugröße und entsprechend geringe Gewichts- bzw. Umweltbelastung sowohl hinsichtlich des elektrischen Speichers, insbesondere in Form einer über einen Umkehrstromrichter (AC/DC- bzw. DC/AC-Wandler) an das Bordnetz anschließbaren Batterie, als auch hinsichtlich des Verbrennungsmotors sowie des mechanischen Energiespeichers.

Zweckmäßigerweise ist der vorgenannte Hybrid-Antrieb derart ausgelegt, daß die Antriebs- bzw. Beschleunigungsleistung für das Fahrzeug von der aus dem Schwungrad-Speicher über den Direktumrichter gespeisten Elektromaschine erbracht wird und daß der Verbrennungsmotor im Stadtverkehr lediglich zur Nachladung der zur Gewährleistung einer Mindest-drehzahl des Schwungrad-Speichers zeitweise belasteten Batterie bzw. im Überlandverkehr durch direkte mechanische Ankopplung an den.

Fahrzeugantrieb zur Überwindung des im Stadtverkehr nahezu vernachlässigbaren Roll- und Luftwiderstandes, d. h. zur Gewährleistung einer konstanten Geschwindigkeit, dient.

Der erfindungsgemäße Hybrid-Antrieb gemäß Patentanspruch 17 zeichnet sich einerseits durch die Verwendung eines besonders einfach aufbaubaren Direktumrichters als Regel- oder Übertragungsmittel zwischen jeweils einer Anzahl von Elektromaschinen zum Antrieb jeweils einer entsprechenden Anzahl von Fahrzeugachsen aus. Andererseits zeichnet er sich aufgrund des Einsatzes einer in vorteilhafter Weise über ein Wechsel- oder Drehstrombordnetz angeschlossenen Kombination aus einem Energiespeicher und einem mit einem Generator verbundenen Verbrennungsmotor durch fertigungs- und regeltechnische Einfachheit aus.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, daß eine besonders aufwandsarme Steuerung oder Regelung sowie eine besonders einfache Leistungs- oder Energieübertragung von dem oder jedem Energiespeicher sowie von dem Energieerzeuger in Form eines mit einem Generator verbundenen Verbrennungsmotors erzielt wird, wenn der diese Aggregate verbindende

Zwischenkreis als reines Wechselstrom- oder Drehstrom-Bordnetz ausgebildet ist. Dies kann durch die Verwendung eines einer jeden Elektromaschine zugeordneten Direktumrichters (AC/AC-Wandler) erreicht werden, über den die Elektromaschine (Synchronmaschine) zum Antrieb der ihr zugeordneten Fahrzeugachse mit dem Wechselstrom-Bordnetz verbunden ist. Ein zusätzlicher Gleichstrom-Zwischenkreis ist somit nicht erforderlich.

Bei Verwendung eines mechanischen oder kinetischen Energiespeichers, insbesondere eines Schwungrad-Speichers, ist dieser zweckmäßigerweise elektrisch direkt an das Wechselstrom-Bordnetz angekoppelt. Bei alternativer oder zusätzlicher Verwendung eines elektrischen Energiespeichers, z. B. einer ladbaren oder entladbaren Batterie, ist dieser zweckmäßigerweise über einen Umkehrstromrichter (DC/AC-Wandler) an das Wechselstrom-Bordnetz angeschlossen. Darüber hinaus ist bei Verwendung eines mit dem Verbrennungsmotor verbundenen Generators mit nachgeschaltetem Gleichrichter dieser über einen Einweg-Stromrichter an das Wechselstrom-Bordnetz angeschlossen. Dadurch ist bei allen denkbaren Überlagerungsmöglichkeiten aller Lade- und Entladestränge zwischen dem oder jedem Energiespeicher und dem Energieerzeuger in Form des Verbrennungsmotors einerseits und der oder jeder Elektromaschine andererseits der ausschließliche Einsatz eines Wechselstrom-Zwischenkreises oder -Bordnetzes besonders zuverlässig sichergestellt.

Ein Antriebssystem mit einem derartigen Hybrid-Antrieb eignet sich insbesondere für ein Schienenfahrzeug mit mehr als einer Antriebsachse. So kann bei einem Schienenfahrzeug mit vier Antriebsachsen und dementsprechend mit vier Elektromaschinen oder Elektrosynchronmotoren das Antriebssystem für jeweils zwei Achsen redundant ausgeführt sein. Dabei speist vorteilhaftweise lediglich ein mit einem einzigen Verbrennungsmotor verbundener Generator in die redundant ausgeführten Wechselstrom-Bordnetze ein. Das Antriebssystem umfaßt dann zwei autarke elektrische Systeme, so daß bei Ausfall eines der Systeme das Fahrzeug weiterhin fahrbereit bleibt. Für den Fall, daß der Verbrennungsmotor ausfällt, kann das Fahrzeug, insbesondere über den elektrischen Energiespeicher, noch eine zur Erreichung eines nächsten Haltepunktes ausreichende Fahrstrecke zurücklegen.

Bei einem Antriebssystem mit sowohl einem elektrischen Energiespeicher in Form einer oder mehrerer Batterien als auch mit einem mechanischen Energiespeicher in Form eines Schwungrad-Speichers kann die elektrische Energie für Beschleunigungen oder Verzögerungen durch den Schwungrad-Speicher mit etwa 2,5 kWh nutzbarer Energie zur Verfügung gestellt werden. Zwei Batterien von jeweils 25 kWh nutzbarer Energie decken einerseits die Energie für einen sogenannten U-Bahnbetrieb für eine Fahrstrecke eines Schienenfahrzeugs von ca. 30 km ab. Andererseits stellen die Batterien die erforderliche Zusatzenergie für Strecken mit einer z. B. 2–3% Steigung bei einem maximalen Höhenunterschied von 400–500 m zur Verfügung. Der relativ kleine Verbrennungsmotor, z. B. in Form eines Dieselaggregates mit einer Leistung von etwa 140 kW, deckt Verluste aus Rollwiderstand und Luftwiderstand des Fahrzeugs sowie aus internen Verlusten des Antriebssystems ab.

Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen gemäß den Merkmalen der Unteransprüche werden im folgenden anhand schematischer Darstellun-

gen in der Zeichnung näher erläutert; darin zeigen:

Fig. 1 ein Antriebssystem für ein Kraftfahrzeug;

Fig. 2 ein Antriebssystem für ein Schienenfahrzeug mit redundantem Hybrid-Antrieb für 2 × 2 Antriebsachsen;

Fig. 3 einen Fahrzyklus in einem Weg/Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm für ein Antriebssystem gemäß Fig. 2.

Ein Verbrennungsmotor 1 ist über eine erste Trennkupplung 7 mit einer Elektromaschine 2 kuppelbar, die ihrerseits über ein Schaltgetriebe 9 mit zumindest einer Antriebsachse 10 eines Fahrzeuges in Mitnahmeverbindung stellbar ist. Die erste Trennkupplung 7 steht u. a. in Betätigungsabhängigkeit von dem Schaltgetriebe 9; ggf. kann auch eine weitere gesonderte Trennkupplung 8 zwischen der Elektromaschine 2 und dem Schaltgetriebe 9 vorgesehen sein.

Neben der vorgenannten mechanischen Verbindungsmöglichkeit der Elektromaschine 2 mit dem Verbrennungsmotor 1 einerseits und der Antriebsachse 10 des Fahrzeuges andererseits ist ein elektrischer Anschluß der Elektromaschine 2 an einen mechanischen Energiespeicher 4 in Form eines Schwungrad-Speichers und an einen elektrischen Energiespeicher 3 in Form einer Batterie über ein Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Bordnetz 11 vorgesehen; zwischen dem Anschluß des Drehstrom-Bordnetzes 11 und der Elektromaschine 2 ist ein Direktumrichter (AC/AC-Wandler) vorgesehen, durch den in aufwandarmer Weise einerseits die Elektromaschine 2 mit insbesondere nach Spannungswert und Frequenzwert veränderlicher elektrischer Leistung versorgt und andererseits elektrische Energie zur Ladung des Schwungrad-Speichers 4 bzw. der Batterie 3 von der Elektromaschine 2 rückgespeist werden kann. Zur Anpassung der Gleichspannung der Batterie 3 an Frequenz- bzw. Spannungswerte an die entsprechenden vom Schwungrad-Speicher vorgegebenen Werte ist der Batterie 3 ein Umkehrstromrichter zugeordnet, der darüber hinaus bei Ladung der Batterie 3 durch generatorische Rückspeisung aus der Elektromaschine 2 zur Anpassung der Werte des Bordnetzes 11 an die der Batterie 3 dient.

Für die als Motor als auch als Generator arbeitende elektrische Maschine 2 ist vorzugsweise eine fremderregte Synchronmaschine, insbesondere in 4-polliger Bauart, mit Regelung durch Feldschwächung und einer maximalen, Höchstdrehzahl des Verbrennungsmotor 1 entsprechenden, Drehzahl von  $6000 \text{ Umin}^{-1}$ , vorgesehen. Zum Antrieb des Schwungrad-Speichers 4 ist vorzugsweise ein dauermagneterregter Motor/Generator vorgesehen, dessen Rotor, z. B. bei einem Durchmesser von ca. 300 mm und einer maximalen Rotor-Drehzahl von  $24.000 \text{ U/min}^{-1}$ , eine hinreichende Schwunghmasse repräsentiert. Die Betriebsspannung des Bordnetzes 11 und die des Schwungrad-Speichers liegen zweckmäßigerweise in der Größenordnung von 500 bis 700 V. Der Direktumrichter 5 ist zweckmäßigerweise in Drehstrombrückenschaltung ausgeführt.

Im Stadtverkehr liefert die Elektromaschine 2 als auch dem Schwungrad-Speicher 4 gespeister Motor die Leistung, um das Fahrzeug anzutreiben und zu beschleunigen; die Batterie 3 liefert über den Umkehrstromrichter 6 ggf. die notwendige Energie, um eine Mindestdrehzahl des Schwungrad-Speichers im Nennbetrieb zu gewährleisten. Darüber hinaus wird aus der Batterie 3 die erforderliche Leistung bezogen, um den Rollwiderstand des Fahrzeuges zu decken, d. h. dessen konstante Geschwindigkeit zu gewährleisten. Die Baugröße und damit das

Gewicht der Batterie 3 kann dadurch in vorteilhafter Weise klein gehalten werden, daß sie im intermittierenden Zyklus nach Aktivierung der Trennkupplung 7 durch den Verbrennungsmotor 1 über das Bordnetz 11 und dem Umkehrstromrichter 6 nachgeladen wird; dabei wird der Verbrennungsmotor 1 etwa bei Halblast betrieben.

Im Überlandverkehr wird der Verbrennungsmotor 1 über die erste Trennkupplung 7 und — falls überhaupt vorhanden — über die zweite Trennkupplung 8 mechanisch dem Antrieb der Fahrzeugachse 10 durch die Elektromaschine 2 zugeschaltet. Die Treibstoffzufuhr und damit die Leistungsabgabe des Verbrennungsmotors 1 wird in vorteilhafter Weise dabei so bemessen daß von dem Verbrennungsmotor 1 lediglich der jeweilige Luftwiderstand und Rollwiderstand des Fahrzeuges nach Art einer Störgrößenaufschaltung überwunden wird. Bei Beschleunigung des Fahrzeuges, z. B. bei Überholvorgängen, wird die Beschleunigungsleistung wiederum durch den reinen Elektroantrieb, d. h. mit einem Leistungsaustausch von dem Schwungrad-Speicher 4 über die Elektromaschine 2 an die Fahrzeugachse 10 geliefert. Bei Bremsbetrieb wird in umgekehrter Richtung Bremsenergie über das Bordnetz 11 in den Schwungrad-Speicher 4 bzw. in die Batterie 3 zurückgespeist.

Während im Stadtverkehr kleinere Höhenunterschiede aus der gespeicherten Energie der Schwungmasse des mechanischen Speichers 4 gedeckt werden, wird bei Bergfahrten im Überlandverkehr zweckmäßigerweise bei zugeschaltetem Verbrennungsmotor 1 die erforderliche Leistung sowohl durch den Verbrennungsmotor 1 als auch teilweise durch den elektrischen Speicher 3 gedeckt, wobei das Bordnetz 11 mit maximal zulässiger Leistung aus der Batterie des elektrischen Speichers 3 eingespeist wird.

Bei längerem Stillstand des Fahrzeuges kann es vorkommen, daß der Schwungrad-Speicher 4 trotz Vakuum-Abkapselung aufgrund unvermeidlicher Verluste auf eine Drehzahl unterhalb einer Mindestdrehzahl abfällt oder im Extremfall sogar zum Stillstand kommt. In diesem Fall erfolgt zweckmäßigerweise ein neues Anfahren mit einem — hier nicht näher dargestellten — aus dem elektrischen Speicher 3 gespeistem kleinen Anfahrumschalter, der den Rotor des Schwungrad-Speichers 4 auf eine kleine Drehzahl, z. B. etwa einem Fünftel seiner Nennndrehzahl, beschleunigt, so daß anschließend das Hochfahren auf die Nennndrehzahl über das Bordnetz 11 und über den Umkehrstromrichter 6 aus der Batterie 3 erfolgen kann.

Fig. 2 zeigt einen Hybrid-Antrieb oder ein Hybrid-Antriebssystem für ein Schienenfahrzeug mit vier Antriebsachsen 2a—2d, denen jeweils eine Elektromaschine 4a, 4b, 4c bzw. 4d zugeordnet ist. Die Elektromaschinen 4a—4d sind sogenannte Synchronmaschinen als Antriebsmotoren mit jeweils etwa 200 kW Spitzenleistung. Jede Elektromaschine 4a—4d ist über eine Antriebswelle 6a—6d an jeweils eine der Antriebsachsen 2a, 2b, 2c bzw. 2d kuppelbar. Die Elektromaschinen 4a und 4b bilden zusammen mit den ihnen zugeordneten Antriebsachsen 2a bzw. 2d eine autarke erste Antriebseinheit. Analog bilden die Elektromaschinen 4c und 4d sowie die Antriebsachsen 2c bzw. 2d eine autarke zweite Antriebseinheit des Fahrzeugs.

Zusätzlich zu der vorgenannten mechanischen Verbindungsmöglichkeit der Elektromaschinen 4a—4c mit den ihnen zugeordneten Antriebsachsen 2a—2d des Fahrzeuges ist für jede Antriebseinheit ein elektrischer

Anschluß der Elektromaschinen 4a, 4b und 4c, 4d an jeweils einen mechanischen Energiespeicher 10a, 10b in Form eines Schwungrad-Speichers und an einen elektrischen Energiespeicher 12a, 12b in Form einer Batterie über jeweils ein Wechselstrom- oder Drehstrom-Bordnetz 14a bzw. 14b vorgesehen. Zwischen den Elektromaschinen 4a, 4b und 4c, 4d und dem Wechselstrom oder Drehstrom-Bordnetz 14a bzw. 14b ist jeweils ein Direktumrichter (AC/AC-Wandler) 16a, 16b bzw. 16c, 16d vorgesehen. Durch die Direktumrichter 16a—16d ist in aufwandsarmer Weise einerseits die ihnen jeweils zugeordnete Elektromaschine 4a—4d mit insbesondere nach Spannungswert und Frequenzwert veränderlicher elektrischer Leistung versorgt. Andererseits kann elektrische Energie zur Ladung des Schwungrad-Speichers 10a, 10b und/oder der Batterie 12a, 12b von der Elektromaschine 4a, 4b bzw. 4c, 4d rückgespeist werden.

Zur Anpassung der Gleichspannung der Batterie 12a, 12b hinsichtlich Frequenz- oder Spannungswerten an die entsprechenden vom Schwungrad-Speicher vorgegebenen Werte ist der Batterie 12, 12b jeweils ein Umkehrstromrichter 18a bzw. 18b zugeordnet. Dieser dient darüber hinaus bei Ladung der Batterie 12a, 12b durch generatorische Rückspeisung aus den elektrischen Maschinen 4a—4d zur Anpassung der Werte des jeweiligen Bordnetzes 14a, 14b an die der Batterie 12a bzw. 12b.

Zur Einspeisung von Energie in die Bordnetze 14a und/oder 14b, insbesondere zum Ausgleich von Verlusten aus Rollwiderstand und Luftwiderstand des Fahrzeuges, sowie zur Kompensation interner Verluste des Hybrid-Antriebs, ist ein Verbrennungsmotor 20, z. B. ein Dieselaggregat, mit angekoppeltem Generator 22 vorgesehen. Der mit dem Verbrennungsmotor 20 verbundene Generator 22 ist über einen Gleichrichter 24 und diesem nachgeschaltet jeweils einem Einweg-Stromrichter 26a, 26b mit dem Bordnetz 14a bzw. 14b verbunden. Der Hybrid-Antrieb ist somit für 2 x 2 Antriebsachsen 2a, 2b bzw. 2c, 2d des Fahrzeuges redundant ausgeführt, wobei das jeweilige Bordnetz 14a, 14b elektrisch an den dem gemeinsamen Verbrennungsmotor 20 nachgeschalteten Generator 22 angeschlossen ist.

Für die sowohl als Motor als auch als Generator arbeitenden elektrischen Maschinen 4a—4d ist vorzugsweise jeweils eine fremderregte Synchronmaschine mit einer Höchstdrehzahl von  $6.000 \text{ U min}^{-1}$  vorgesehen. Zum Antrieb des Schwungrad-Speichers 10a, 10b ist vorzugsweise ein dauermagneterregter Motor/Generator vorgesehen, dessen Rotor, z. B. bei einer Leistung von 350 kW und einer Rotor-Drehzahl von  $18.000\text{—}24.000 \text{ U min}^{-1}$ , eine hinreichende Schwungmasse repräsentiert. Die Betriebsspannung des Bordnetzes 14a, 14b und des Schwungrad-Speichers 10a, 10b liegt zweckmäßigerweise bei etwa 800 V. Die Leistung des Verbrennungsmotors 20 beträgt zweckmäßigerweise 140 kW bei  $5600 \text{ U min}^{-1}$ . Als elektrische Speicher 12a, 12b sind jeweils zwei Batterien mit ca. 200 V und je 25 kWh vorgesehen. Die Direktumrichter 16a—16d sind zweckmäßigerweise jeweils in Drehstrombrückenschaltung ausgeführt.

Bei Einsatz eines derartigen Antriebssystems 1 für eine U-S-Bahn zeichnet sich dieses insbesondere dadurch aus, daß keinerlei Oberleitungen oder andere Stromzuführungen erforderlich sind. Weiter liegt der Primärverbrauch bei nur etwa 36 l Dieselkraftstoff pro 100 km Fahrstrecke, bezogen auf ein Fahrzeug von etwa 30 t Gesamtgewicht (ca. 64 Sitzplätze und 60 Stehplätze, d. h. 0,3 l Treibstoff pro Person und 100 km Fahrstrecke). Ferner beträgt die mittlere Fahrgeschwindigkeit

keit bei 40 Haltepunkten pro 100 km Fahrstrecke etwa 75 km/h bei einer Spitzengeschwindigkeit von ca. 125 km/h. Außerdem kann das Fahrzeug im unterirdischen Betrieb (U-Bahnbetrieb) eine Fahrstrecke von ca. 30 km zurücklegen. Die Energie hierfür stellt eine der Batterien 12a, 12b ( $2 \times 25$  kWh) zur Verfügung (ca.  $2 \times 500$  kg Gewicht).

Die elektrische Energie für Beschleunigungen und Verzögerungen des Fahrzeugs wird durch die Schwungrad-Speicher 10a, 10b mit je 2,5 kWh nutzbarer Energie zur Verfügung gestellt. Bei Streckenanstiegen mit 2–3% Steigung und maximalem Höhenunterschied von 400–500 m stellt die oder jede Batterie 12a, 12b die notwendige Zusatzenergie zur Verfügung. Der Verbrennungsmotor 20 deckt dann lediglich die Verluste aus Rollwiderstand und Luftwiderstand sowie interne Verluste des Hybrid-Antriebs ab. Sollte der Verbrennungsmotor 20 ausfallen, so kann das Fahrzeug – ähnlich wie im U-Bahn-Betrieb – über die elektrischen Speicher 12a, 12b noch etwa 30 km Fahrstrecke zurücklegen.

Fig. 3 zeigt einen Fahrzyklus, basierend auf 40 Haltepunkten pro 100 km Fahrstrecke und angenommenen Basisdaten von ca. 30.000 kg Fahrzeuggewicht und 25 in Fahrzeuglänge. Wie in dem Diagramm gezeigt, resultiert hieraus eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 75 km/h bei einer mittleren Ein-/Ausstiegszeit von 25 Sekunden. Dabei ist auf einer ersten unteren Abszisse A1 die Fahrstrecke  $s$  [m] und auf einer darüberliegenden zweiten Abszisse A2 die jeweils korrespondierende Zeit  $t$  [s] aufgetragen. Auf der Ordinate ist die Fahrgeschwindigkeit  $v$  [km/h] aufgetragen. Das Diagramm stellt somit die Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Fahrzeit  $t$  und Fahrstrecke  $s$  dar. Dabei ist zwischen zwei Fahrzyklen eine mittlere Ein-/Ausstiegszeit von 25 Sekunden angenommen.

#### Patentansprüche

1. Hybrid-Antrieb für ein Fahrzeug, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit zumindest
  - a) einem Verbrennungsmotor (1),
  - b) einer Elektromaschine (2),
  - c) zumindest einem Energiespeicher (3 bzw. 4),
  - d) einem Direktumrichter (5)
 und mit Leistungsaustausch-Verbindungen zumindest zwischen
  - e) der Elektromaschine und zumindest einer Antriebsachse (10) des Fahrzeugs,
  - f) dem Verbrennungsmotor (3) und der Elektromaschine (2),
  - g) der Elektromaschine (2) und dem zumindest einem Energiespeicher (3 bzw. 4) über ein Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Bordnetz (11) unter Zwischenschaltung des Direktumrichters.
2. Hybrid-Antrieb für ein Fahrzeug, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit zumindest
  - h) einem Verbrennungsmotor (1),
  - i) einer Elektromaschine (2),
  - j) einem elektrischen Energiespeicher (3), insbesondere in Form einer elektrisch ladbaren bzw. entladbaren Batterie,
  - k) einem mechanischen Energiespeicher (4), insbesondere in Form eines elektrisch ladbaren bzw. entladbaren Schwungrad-Speichers,
  - l) einem Direktumrichter (5) und mit Leistungsaustausch-Verbindungen zumindest

zwischen

m) der Elektromaschine und zumindest einer Antriebsachse (10) des Fahrzeugs, n) dem Verbrennungsmotor (3) und der Elektromaschine (2),

o) der Elektromaschine (2) und dem mechanischen Energiespeicher (4) über ein Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Bordnetz (11) unter Zwischenschaltung des Direktumrichters, p) dem Verbrennungsmotor (1) und dem elektrischen Energiespeicher (3) über das Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Bordnetz (11)

q) dem elektrischen Energiespeicher (3) und dem mechanischen Energiespeicher (4) über das Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Bordnetz (11).

3. Hybrid-Antrieb nach dem vorhergehenden Anspruch mit einer ladbaren bzw. entladbaren Batterie als elektrischem Energiespeicher (4) und mit einem der Batterie zugeordneten Umkehrstromrichter (6).

4. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer mechanischen, vorzugsweise mit einer ersten Trennkupplung (7) versehenen, Verbindung zwischen dem Verbrennungsmotor (1) und der Elektromaschine (2).

5. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer mechanischen, vorzugsweise mit einem Schaltgetriebe (9) versehenen, Verbindung zwischen der Elektromaschine (2) und der Antriebsachse (10) des Fahrzeugs.

6. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer zweiten, insbesondere einem Schaltgetriebe (9) vorgeschalteten, Trennkupplung (8) in der Verbindung zwischen der Elektromaschine (2) und der Antriebsachse (10) des Fahrzeugs.

7. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Drehstrom-Bordnetz zwischen der Elektromaschine (2) und dem zumindest einen Energiespeicher (3 bzw. 4) sowie mit einem Direktumrichter (5) in Drehstrombrückenschaltung.

8. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Stadtverkehrsantrieb durch die von dem Verbrennungsmotor (1) mechanisch entkuppelte Elektromaschine (2) mit einer Leistungsübertragung ihrer Antriebs- und Beschleunigungsleistung aus dem zumindest einen Energiespeicher (3 bzw. 4).

9. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Überlandverkehrsantrieb durch den Verbrennungsmotor (1) und die mechanisch gekuppelte Elektromaschine (2) mit einer Leistungsübertragung ihrer Antriebs- und Beschleunigungsleistung aus dem zumindest einen Energiespeicher (3 bzw. 4).

10. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der Ansprüche 2–9 einer Leistungsübertragung von dem elektrischen Energiespeicher (3) zu dem mechanischen Energiespeicher (4) im Sinne der Sicherstellung einer Mindestdrehzahl seines Rotors bzw. seiner Schwungmassen.

11. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der Ansprüche 2–10 mit einer Leistungsübertragung von dem elektrischen Energiespeicher (3) zu der Elektromaschine (2) im Sinne einer Sicherstellung von dessen Antriebsleistung zur Überwindung des Roll-

widerstandes bzw. Luftwiderstandes des Fahrzeuges.

12. Hybrid-Antrieb nach Anspruch 11 mit einer Ermittlung des jeweiligen Rollwiderstandes aus der augenblicklichen Fahrgeschwindigkeit, insbesondere unter zusätzlicher Berücksichtigung des jeweiligen Reifendrucks bzw. der jeweiligen Zuladung bzw. des jeweiligen Fahrtgegenwindes.

13. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Leistungsübertragung über die Elektromaschine (2) von der Antriebsachse (10) zu dem zumindest einen Energiespeicher (3 bzw. 4).

14. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 2–13 mit einer Überlagerung einer Ladeleistungsübertragung von dem Verbrennungsmotor (1) zu dem elektrischen Speicher (4) und einer Antriebsleistungsübertragung von dem mechanischen Energiespeicher (4) zu der Antriebsachse (10) jeweils unter Zwischenschaltung der Elektromaschine (2).

15. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Motor/Generator, insbesondere einer fremderregten Synchronmaschine, als Elektromaschine (2).

16. Hybrid-Antrieb nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 2–15 mit einem Schwunghmassen-Motor/Generator, insbesondere einer dauermagneterregten Synchronmaschine mit vorzugsweise etwa 506 V bis 700 V Betriebsausgangsspannung, als mechanischer Energiespeicher (4).

17. Hybrid-Antrieb für ein Fahrzeug, insbesondere für ein Schienenfahrzeug,

– mit einem mit einem Generator (22) verbundenen Verbrennungsmotor (20),

– mit einer Anzahl von Elektromaschinen (4a–4d), von denen jede mit jeweils einer entsprechenden Anzahl von Antriebsachsen (2a–2d) verbunden ist,

– mit mindestens einem Energiespeicher (10a, 10b; 12a, 12b), und

– mit einem an den Generator (22) sowie an den Energiespeicher (10a, 10b; 12a, 12b) angeschlossenen Wechselstrom-Bordnetz (14, 14b), das über jeweils einen Direktumrichter (16a, 16b; 16c, 16d) mit jeder Elektromaschine (4a, 4b bzw. 4c, 4d) verbunden ist.

18. Hybrid-Antrieb nach Anspruch 17, bei dem als Energiespeicher ein elektrischer Speicher (12a, 12b), vorzugsweise eine elektrisch ladbare und entladbare Batterie, und/oder eine mechanischer Speicher (10a, 10b), vorzugsweise ein elektrisch ladbarer und entladbarer Schwungrad-Speicher, vorgesehen ist.

19. Hybrid-Antrieb nach Anspruch 17 oder 18, wobei für ein Fahrzeug mit vier Antriebsachsen (2a–2d) das Wechselstrom-Bordnetz (14a, 14b) mit dem an diesen angeschlossenen Energiespeicher (10a, 12a; 10b, 12b) für jeweils zwei Antriebsachsen (2a, 2b; 2c, 2d) redundant ausgeführt ist.

20. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 19, bei dem bei Verwendung einer elektrisch ladbaren und entladbaren Batterie als Energiespeicher (12a, 12b) dieser ein Umkehrstromrichter (18a, 18b) zugeordnet ist.

21. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 20, wobei dem mit dem Verbrennungsmotor

(20) verbundenen Generator (22) ein Gleichrichter (24) zugeordnet ist.

22. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 21, wobei der mit dem Verbrennungsmotor (20) verbundene Generator (22) über einen Stromrichter (26a, 26b), vorzugsweise über einen Einweg-Stromrichter, an das Wechselstrom-Bordnetz (14a bis 14b) angeschlossen ist.

23. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 22, wobei die oder jede Elektromaschine (4a–4d) ein Elektrosynchronmotor mit etwa 200 kW Spitzenleistung ist.

24. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 23, wobei der Verbrennungsmotor (20) für eine Leistung von etwa 140 kW bemessen ist.

25. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 24, wobei bei Einsatz eines mechanischen Energiespeichers (10a, 10b) dieser zur Bereitstellung von etwa 2,5 kWh nutzbarer Energie ausgelegt ist.

26. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 25, wobei bei Einsatz eines elektrischen Energiespeichers (12a, 12b) dieser zur Bereitstellung von ca. 50 kWh, z. B. von  $2 \times 25$  kWh, nutzbarer Energie ausgelegt ist.

27. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 26, mit zum Beschleunigen oder Verzögern des Fahrzeugs einer Leistungsübertragung von dem mindestens einen Energiespeicher (10, 12a; 10b, 12b) zu jeweils mindestens einer der Elektromaschinen (4a, 4b bzw. 4c, 4d).

28. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 18 bis 27, mit einer Leistungsübertragung von dem elektrischen Energiespeicher (12a, 12b) zu dem mechanischen Energiespeicher (10a bzw. 10b) im Sinne der Sicherstellung einer Mindestdrehzahl seines Rotors oder seiner Schwunghmasse.

29. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 28, mit einer Leistungsübertragung von dem Verbrennungsmotor (20) zu jeder Elektromaschine (4a–4d) im Sinne eines Verlustausgleichs zur Überwindung eines Roll- und/oder Luftwiderstandes des Fahrzeugs.

30. Hybrid-Antrieb nach einem der Ansprüche 17 bis 29, wobei das Wechselstrom-Bordnetz (14a, 14b) eine Betriebsspannung von ca. 800 V aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



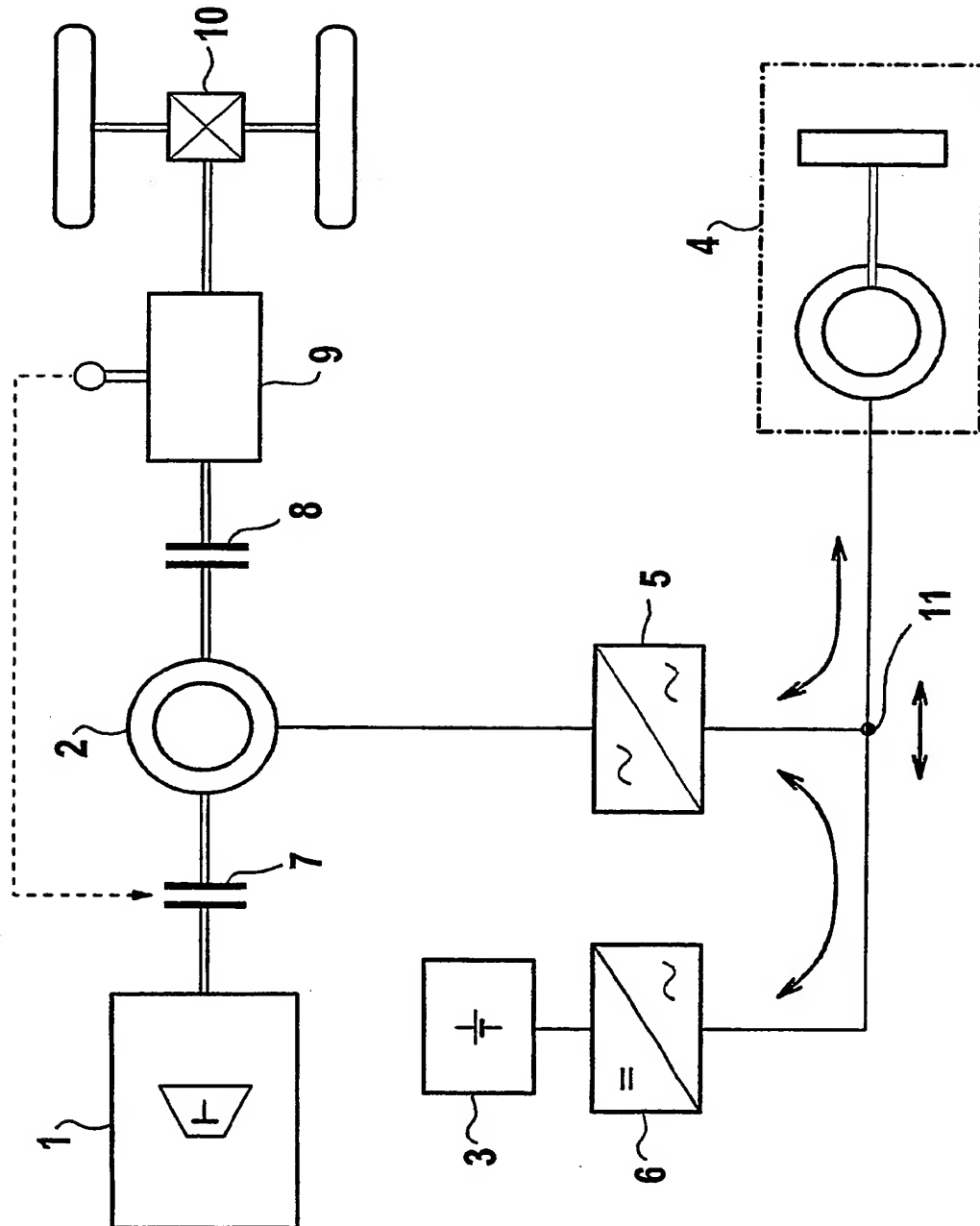


FIG 1



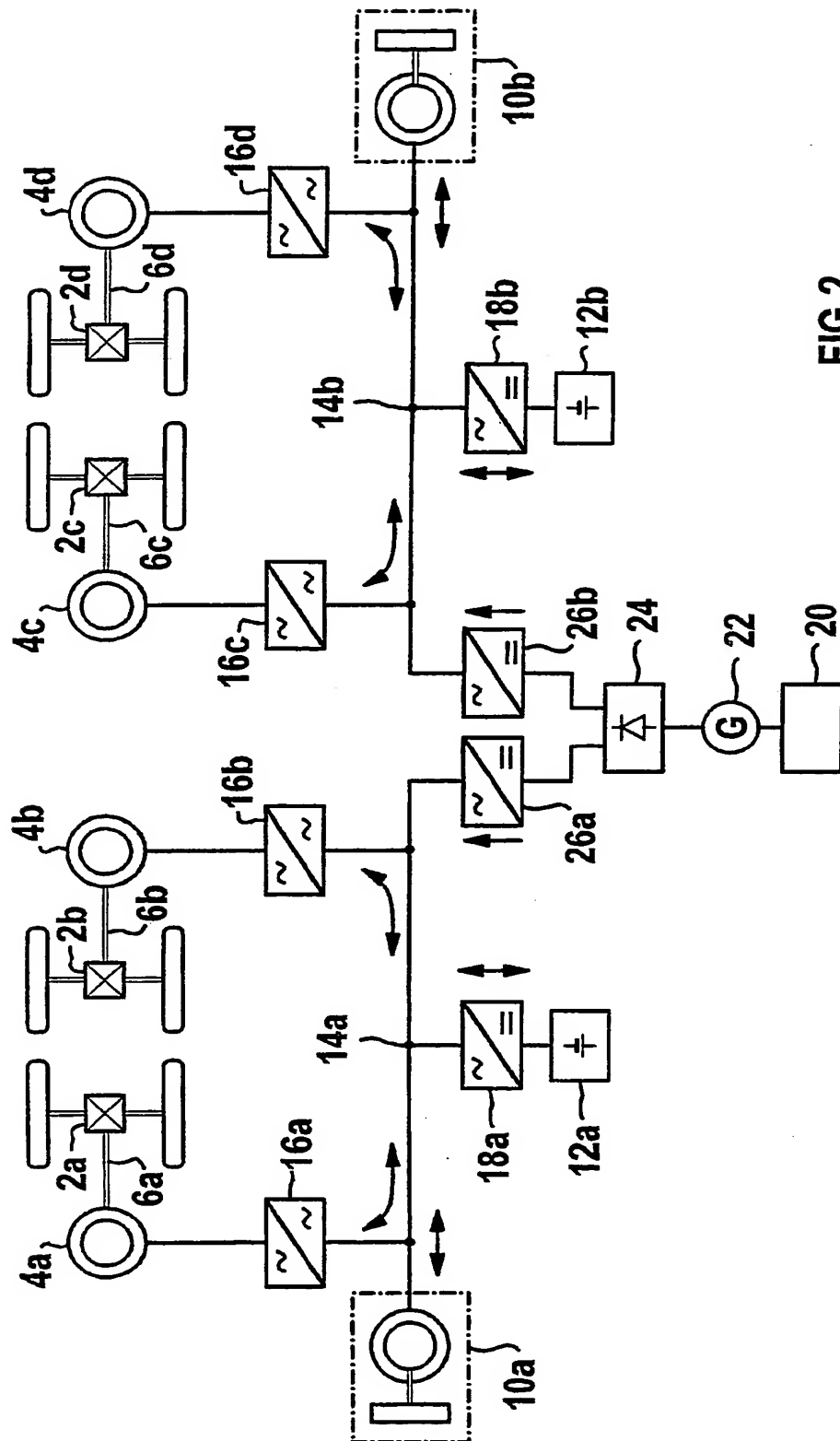


FIG 2

